

Rec'd 21 APR 2005

532173
10/532173

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Mai 2004 (06.05.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/038217 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: F03D 1/06, 11/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/003505

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. Oktober 2003 (21.10.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 49 297.2 22. Oktober 2002 (22.10.2002) DE
103 01 080.7 14. Januar 2003 (14.01.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HERBST, Manfred
[DE/DE]; Pausalastr. 6, 90411 Nürnberg (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT,
RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

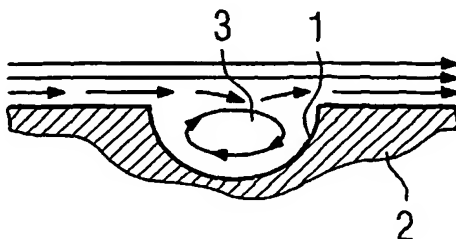
Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: WIND POWER UNIT WITH STRUCTURED SURFACES FOR IMPROVEMENT OF FLOW

(54) Bezeichnung: WINDKRAFTANLAGE MIT STRUKTURIERTEN OBERFLÄCHEN ZUR STRÖMUNGSVERBESSE-
RUNG



(57) Abstract: A wind power unit comprising a mast, a rotor with several rotor blades, a gondola and optionally further components around which there is a flow, is disclosed. The surfaces of the mast (12) and/or the rotor blades (18) and/or the gondola (19) and/or the further components at least partly comprise recesses (1) for improvement of the flow.

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Windkraftanlage mit einem Mast, einem Rotor mit mehreren Rotorblättern, einer Gondel und gegebenenfalls weiteren umströmten Komponenten beschrieben. Die Oberfläche des Mastes (12) und/oder der Rotorblätter (18) und/oder der Gondel (19) und/oder der weiteren Komponenten weist zumindest teilweise Vertiefungen (1) zur Strömungsverbesserung auf.

WO 2004/038217 A1

Beschreibung

5 Die Erfindung betrifft eine Windkraftanlage mit einem Mast, einem Rotor mit mehreren Rotorblättern, einer Gondel und gegebenenfalls weiteren umströmten Komponenten.

10 Im Mix der Energieerzeugung nehmen Windturbinen mit unterschiedlichen Leistungen bereits einen festen Platz ein. Durch die Weiterentwicklungen der letzten Jahre sind diese Windkraftanlagen immer größer und effizienter geworden.

15 Die von dem Rotor der Windkraftanlage überstrichene Fläche kann als die Fläche angesehen werden, aus der dem Wind Energie entzogen werden kann. In der Praxis ist es nachteilig, dass innerhalb dieser Fläche die verschiedenen Komponenten der Windkraftanlage wie der Mast, die Gondel und der Spinner oder die Welle der Windkraftanlage eine Störung der Luftströmung darstellen. Dadurch werden Luftwirbel, Turbulenzen und Windschatten erzeugt, die zu einer Reduzierung der vom Rotor überstrichenen Fläche und somit zu einem geringeren Energieertrag führen.

25 Darüber hinaus ist es nachteilig, dass auch die in Windrichtung nachfolgenden Windkraftanlagen durch die erzeugten Turbulenzen negativ beeinflusst werden. Da auf diese Windenergieanlagen eine zumindest teilweise gestörte, turbulente Luftströmung einwirkt, ist ihr Wirkungsgrad verschlechtert.

30 Ein weiterer Nachteil ist darin zu sehen, dass die einzelnen Rotorblätter der Kraft bzw. dem Druck der Luftströmung ausgesetzt sind, was zu einer Biegebelastung führt. Beim Vorbeistreichen eines Rotorblatts an dem Mast der Windenergieanlage wird das Rotorblatt für einen kurzen Zeitraum entlastet. Auf
35 diese Weise kommt es zu einer periodischen Belastungsänderung, die sich in unerwünschten Schwingungen äußert. Diese

dynamischen Effekte pflanzen sich über die Rotorblattnabe, den Generator, Lager, Wellen, Antriebe, Getriebe bis zum Mast fort, so dass sämtliche Bauteile stärker dimensioniert werden müssen, um die erforderliche Dauerfestigkeit sicherzustellen.

5 Diese Vorkehrungen führen zu erhöhten Kosten der Windenergieanlage.

Aus der WO 97/04280 A1 ist es bereits bekannt, die Grenzschicht von umströmten Körpern durch eine strukturierte Oberfläche zu beeinflussen, allerdings werden dazu elektrische oder magnetische Felder benötigt.

Die Erfindung betrifft daher das Problem, eine Windkraftanlage zu schaffen, die die genannten Nachteile vermeidet und bei der das Strömungsverhalten verbessert ist.

Zur Lösung dieses Problems ist bei einer Windkraftanlage der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Oberfläche des Mastes und/oder der Rotorblätter und/oder der Gondel und/oder der weiteren Komponenten zumindest teilweise Vertiefungen zur Strömungsverbesserung aufweist.

Anders als bei bekannten Windkraftanlagen, die eine glatte Oberfläche aufweisen, sind bei der erfindungsgemäßen Windkraftanlage Vertiefungen bzw. entsprechende Erhöhungen zur Strömungsverbesserung vorgesehen. Diese Vertiefungen beeinflussen die Luftströmung, insbesondere die Grenzschicht, d. h. den Bereich zwischen der Bauteiloberfläche und der ungestörten Strömung. Bei glatten Oberflächen, die im Stand der Technik verwendet werden, wird der Strömungskörper auf der Anströmseite laminar angeströmt, an dieser Stelle liegt eine ungestörte Strömung vor. Der Umschlagpunkt kennzeichnet den Übergang zwischen laminarer und turbulenter Strömung. Hinter dem Umschlagpunkt ist die Luftströmung verwirbelt, was zu einem sehr starken Anstieg des Strömungswiderstands führt. Bei der erfindungsgemäßen Windkraftanlage mit den Vertiefungen und Erhöhungen auf der Oberfläche ist der Umschlagpunkt in

Strömungsrichtung verschoben, d. h. Verwirbelungen bilden sich erst später, so dass der Strömungswiderstand verringert ist. Durch den verringerten Strömungswiderstand neigt die gesamte Windkraftanlage weniger zu Schwingungen, so dass die
5 einzelnen mechanischen Bauteile geringer belastet werden. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die Interaktion zwischen dem Rotormast und dem vorbeistreichenden Rotorblatt verringert wird, wodurch die Biegebelastung des Rotorblatts ebenfalls vermindert wird.

10

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Windkraftanlage ist darin zu sehen, dass die Luftströmung im Nachlaufbereich hinter der Windkraftanlage weniger gestört ist, so dass nachfolgende Windkraftanlagen kaum beeinträchtigt werden. Es ist
15 daher möglich, mehrere Windenergieanlagen in einem Windpark mit einem geringeren Abstand voneinander aufzustellen, so dass die Energiedichte der Windparkfläche erhöht werden kann.

20

Es ist günstig, dass die erfindungsgemäße Windkraftanlage weniger anfällig für Verschmutzungen und Vereisung ist. Dieser Effekt wird auf die erhöhte Luftgeschwindigkeit in den Vertiefungen zurückgeführt.

25

Die erfindungsgemäße Windkraftanlage weist darüber hinaus den Vorteil auf, dass Geräuschemissionen im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen verringert sind. Der entstehende Lärmpegel sowie die periodischen Schwingungen, die von der Windkraftanlage an den Boden übertragen werden, sind unerwünscht, da sie von den Anwohnern als unangenehm empfunden werden. Diesem
30 Problem kann mit der erfindungsgemäßen Windkraftanlage abgeholfen werden, da die geschilderten Beeinträchtigungen sehr stark verringert werden, was zu einer hohen Akzeptanz dieser Technologie führt.

35

Die Vertiefungen auf der Oberfläche der erfindungsgemäßen Windkraftanlage können unterschiedlich geformt sein. Es ist

besonders günstig, wenn sie im Wesentlichen die Form einer Halbkugel aufweisen.

Ähnlich gestaltete Oberflächen werden bei Golfbällen benutzt, die dem Golfball durch aerodynamische Effekte bessere Flugeigenschaften verleihen. Die Verwendung von Halbkugeln als Vertiefungen bietet sich insbesondere an den Stellen an, die aus unterschiedlichen Richtungen angeströmt werden, z. B. bei den Rotormasten. Es ist jedoch auch möglich, anders ausgebildete Vertiefungen zu verwenden, beispielsweise mit der Form eines halbierten Tropfenprofils. Tropfenprofile sind besonders strömungsgünstig, d. h. sie erzeugen lediglich einen minimalen Widerstand. Tropfenprofile eignen sich insbesondere für die Rotorblätter, da die Anströmrichtung bei Rotorblättern im Wesentlichen konstant ist.

Es ist vorteilhaft, die Vertiefungen auf der bzw. den Oberflächen regelmäßig anzuordnen. Beispielsweise können die Vertiefungen reihenweise angeordnet werden, wobei benachbarte Reihen zueinander versetzt angeordnet sein können. Auf diese Weise wird eine gute Flächenausnutzung erzielt.

Mit besonderem Vorteil können die Vertiefungen bei einem Rotorblatt im Wesentlichen in dem Bereich zwischen dem Umschlagpunkt zwischen laminarer und turbulenter Strömung und der Endkante des Rotorblatts angeordnet sein. Bei dieser Ausgestaltung weist der laminar umströmte Nasenbereich des Rotorblatts keine Vertiefungen auf. Die Vertiefungen sind in dem Bereich angeordnet, in dem bei herkömmlichen Rotorblättern der Umschlag zwischen laminarer und turbulenter Strömung erfolgt. Die Vertiefungen bewirken, dass der Umschlagpunkt in Strömungsrichtung verschoben wird, so dass die laminare Laufstrecke der Strömung verlängert wird. Dieser Effekt hat zur Folge, dass der turbulente Bereich im Vergleich zu herkömmlichen Windkraftanlagen wesentlich schmaler ist.

Die Erfindung kann besonders leicht verwirklicht werden, wenn die Vertiefungen auf einem flächigen Trägermaterial ausgebildet sind, das auf oder an der Windkraftanlage befestigbar ist. Auf diese Weise können Windkraftanlagen auch nachträglich mit der Vertiefungen aufweisenden Oberflächenstruktur versehen werden. Die Handhabung ist besonders einfach, wenn das Trägermaterial eine Folie ist, insbesondere eine selbstklebende Folie.

10 Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert. Die Figuren sind schematische Darstellungen und zeigen:

15 Fig. 1 eine halbkugelförmige Vertiefung in der Oberfläche einer erfindungsgemäßen Windkraftanlage in einer geschnittenen Seitenansicht;

20 Fig. 2-7 die in Figur 1 gezeigte Vertiefung und die aerodynamischen Effekte beim Vorbeistreichen von Luft in einzelnen Schritten;

Fig. 8 die Entstehung von Strömungswirbeln an den Vertiefungen;

25 Fig. 9 eine Draufsicht auf ein Feld mit regelmäßig angeordneten Vertiefungen sowie den dadurch erzeugten Strömungsverlauf;

30 Fig. 10 einen angeströmten Rotormast einer herkömmlichen Windkraftanlage und das erzeugte Strömungsfeld in einer horizontal geschnittenen Ansicht;

35 Fig. 11 einen Rotormast einer erfindungsgemäßen Windkraftanlage und das erzeugte Strömungsfeld in einer horizontal geschnittenen Ansicht, und

Fig. 12 eine erfindungsgemäße Windkraftanlage, deren Oberfläche zumindest teilweise Vertiefungen zur Strömungsverbesserung aufweist.

5 Fig. 1 zeigt eine halbkugelförmige Vertiefung 1 in der Oberfläche 2 einer Windkraftanlage in einer geschnittenen Seitenansicht. Wie in Fig. 1 zu erkennen ist, wird die Oberfläche 2 im Wesentlichen parallel zur Oberfläche angeströmt. Die in diesem Ausführungsbeispiel gezeigte halbkugelförmige Vertiefung 1 ist lediglich beispielhaft zu verstehen. Anstelle der Halbkugelform kann auch die Form eines halbierten Tropfenprofils oder eine andere Form gewählt werden, die zu einer Verbesserung der Strömung führt.

15 Beim Vorbeistreichen der Luft an der Vertiefung 1 bildet sich in der Vertiefung 1 ein Luftwirbel 3 aus, der das Vorbeistreichen der Luft unterstützt und das Luftvolumen beschleunigt. Die Stärke dieses Effekts ist von der Anströmgeschwindigkeit, dem Anströmwinkel, dem Luftdruck, der Lufttemperatur, der Form und Ausgestaltung der Vertiefung 1 abhängig. Die sich in jeder Vertiefung bildenden Wirbel 3 wirken für die vorbeistreichende Luft wie ein „Kugellager“, die laminare Strömung an der Oberfläche 2 wird dadurch nicht oder nur wenig gestört.

25

Die Figuren 2 - 7 zeigen die in Fig. 1 gezeigte Vertiefung 1 und die aerodynamischen Effekte beim Vorbeistreichen von Luft in einzelnen Schritten.

30 Fig. 2 ist eine Draufsicht und stellt die Oberfläche 2 einer Komponente der Windkraftanlage dar, die mit einer Vertiefung 1 versehen ist. Von der halbkugelförmigen Vertiefung 1 ist in Fig. 2 die kreisförmige Kante zu erkennen. Die Vertiefung 1 wird von der vorbeistreichenden Luft im Wesentlichen laminar angeströmt, dadurch werden zunächst zwei symmetrische Luftwirbel 3, 4 erzeugt.

Fig. 3 zeigt die Vertiefung von Fig. 2 kurze Zeit später. Durch Unsymmetrien bei der Anströmung hat sich der dominierende Wirbel 3 in der Vertiefung 1 gebildet, wohingegen der andere Luftwirbel 4 schwächer geworden ist. In Fig. 3 ist auch zu erkennen, dass die Stromlinien 5 der vorbeistreichenden Luft zwischen den Luftwirbeln 3, 4 seitlich abgelenkt werden.

Wie in Fig. 4 gezeigt ist, hat sich der dominierende, einseitige Luftwirbel 3 zu einem „Tornado“ entwickelt, d. h. es ist ein kleiner, lokaler Wirbel entstanden, in dem die Luft aufsteigt, so dass sie von der Oberfläche 2 weg bewegt wird. Somit hat sich aus der Vertiefung 1 ein Luftwirbel 3 gebildet, der die vorbeistreichende Luft in Strömungsrichtung weiter antreibt. In Fig. 4 ist auch zu erkennen, dass die vorbeistreichende Luft zur Seite abgelenkt wird.

Fig. 5 zeigt die Strömungsverhältnisse kurze Zeit später. Der Luftwirbel 3 bricht durch Strömungsunsymmetrien nach kurzer Zeit wieder zusammen, so dass die Stärke des dominierenden Wirbels reduziert wird. Gleichzeitig beginnt der andere Luftwirbel 4, sich auszudehnen. Anders als bei dem Zustand von Fig. 4 erfährt die vorbeistreichende Luft in dieser Situation keine Richtungsablenkung, d. h. sie wird nicht beeinflusst.

Fig. 6 zeigt die Strömungsverhältnisse etwas später. Der Luftwirbel 4 beginnt zu dominieren, da er wesentlich größer und stärker als der andere Luftwirbel 3 ist. Es ist auch erkennbar, dass die Stromlinien 6 der vorbeistreichenden Luft eine Ablenkung zur Seite erfahren. Die Luftwirbel 3, 4 weisen entgegengesetzte Drehrichtungen auf, daher werden die Stromlinien 6 der vorbeistreichenden Luft in die entgegengesetzte seitliche Richtung im Vergleich zu dem in Fig. 4 dargestellten Zustand abgelenkt, in dem der Luftwirbel 3 dominierte.

Fig. 7 zeigt die Strömungsverhältnisse kurze Zeit später. Der Luftwirbel 4, der gegenläufig zum Luftwirbel 3 ist, hat sich

zu einem größeren Wirbel entwickelt, der aus der Vertiefung 1 heraus die vorbeiströmende Luft in Strömungsrichtung weiter antreibt.

- 5 Im weiteren Verlauf wird auch der Luftwirbel 4 durch Strömungsunsymmetrien wieder zusammenbrechen, so dass die dargestellte Abfolge sich fortlaufend wiederholt.

Fig. 8 zeigt die Entstehung von Strömungswirbeln an den Vertiefungen. Die Windkraftanlage umfasst üblicherweise eine
10 Vielzahl von Vertiefungen 1, die auf der Oberfläche der Rotorblätter, des Mastes, der Gondel oder einer anderen umströmten Komponente ausgebildet sind. Ausgehend von jeder einzelnen Vertiefung 1 bilden sich kleine Strömungswirbel
15 aus, die die vorbeistreichende Luft in Strömungsrichtung weiter antreiben. Nach einiger Zeit bricht der Wirbel zusammen und ein Wirbel mit entgegengesetzter Drehrichtung entsteht. Benachbarte Vertiefungen 1, 7 können dabei dieselbe oder die entgegengesetzte Drehrichtung aufweisen. Der Reibungswiderstand in der Grenzschicht zwischen der vorbeistreichenden
20 Luft und der Oberfläche wird dabei reduziert, außerdem wird die Luftströmung an der Oberfläche unterstützt und beschleunigt. Da die Gesamtenergie eines geschlossenen Systems nicht ansteigen kann, wird gleichzeitig an anderen Stellen Energie
25 verbraucht, beispielsweise durch Reibungseffekte, d.h. die Reibungsenergie herkömmlicher Systeme wird teilweise zur Erzeugung der Luftwirbel genutzt, die wiederum die Gesamtreibungsverluste reduzieren.

30 Fig. 9 zeigt ein Feld mit regelmäßig angeordneten Vertiefungen und das resultierende Strömungsfeld. Wie in Fig. 9 zu erkennen ist, sind die Vertiefungen in waagerechten Reihen angeordnet, wobei benachbarte Reihen seitlich so versetzt sind, dass jede Vertiefung 1 im Wesentlichen den gleichen Abstand
35 zu allen benachbarten Vertiefungen aufweist. Die links- und rechtsdrehenden Luftwirbel wechseln sich im Laufe der Zeit ab und auf der umströmten Oberfläche 2 bildet sich ein Muster

dieser wechselnden Wirbel, die in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit und weiteren aerodynamischen Parametern im Wesentlichen von einer Vertiefung 1 bis zur nächsten Vertiefung 1 reichen. Diese Luftwirbel 3, 4 unterstützen und beschleunigen die Luftströmung über die gesamte Oberfläche 2.

Fig. 10 zeigt schematisch einen angeströmten Rotormast einer herkömmlichen Windkraftanlage und das erzeugte Turbulenzfeld in einer horizontal geschnittenen Ansicht. Der Rotormast 8 weist einen kreisförmigen Querschnitt auf. Die anströmende Luftmasse 9 ist im Wesentlichen laminar, d. h. die einzelnen Stromfäden verlaufen parallel zueinander, die Luft ist turbulenzfrei. Die Umschlagpunkte 10 befinden sich in Strömungsrichtung betrachtet an der linken und rechten Seite des Rotormasts im Bereich des größten Durchmessers. Der Umschlagpunkt 10 kennzeichnet die Stelle, an der die laminare Strömung 9 in die turbulente Strömung 11 umschlägt. Wie in Fig. 10 zu erkennen ist, hat der Nachlaufbereich mit der turbulenten Strömung 11 eine leichte Kegelform, so dass sich der turbulente Bereich hinter der Windkraftanlage vergrößert. Nachfolgende Windkraftanlagen werden mit turbulenter Luft beaufschlagt, was zu einer Verringerung ihres Wirkungsgrads führt.

Fig. 11 ist eine ähnliche Darstellung wie Fig. 10 und zeigt einen Rotormast 12, der außenseitig mit einer Folie 13 versehen ist, wobei die Folie 13 Vertiefungen zur Verbesserung der Strömung aufweist. Anders als bei dem in Fig. 10 gezeigten Rotormast besitzt die anströmende laminare Luft 16 bei dem mit der Folie 13 versehenen Rotormast 12 eine wesentlich längere laminare Laufstrecke, so dass die Umschlagpunkte 14 in Strömungsrichtung versetzt sind. Wie in Fig. 11 zu erkennen ist, liegen die Umschlagpunkte 14 hinter dem größten Durchmesser des Rotormasts 12, so dass die Strömung bis dort sehr reibungsarm ist. Die turbulente Strömung 15 kann sich erst anschließend ausbilden. Anders als bei dem in Fig. 10 dargestellten Beispiel ist der Bereich der turbulenten Strömung 15 wesentlich kleiner, so dass nachfolgende Windkraftanlagen

deutlich weniger beeinflusst werden. Es ist daher möglich, die einzelnen Windkraftanlagen eines Windparks mit geringerem Abstand aufzustellen, so dass sich eine bessere Flächennutzung und ein höherer Energieertrag pro Fläche ergibt.

5

Fig. 12 zeigt eine Windkraftanlage in einer schematischen Ansicht, deren Oberfläche zumindest teilweise Vertiefungen zur Strömungsverbesserung aufweist. Die insgesamt mit 17 bezeichnete Windkraftanlage besteht im Wesentlichen aus einem Mast 12, einem Rotor mit mehreren Rotorblättern 18, einer Gondel 19 zur Aufnahme des Generators sowie einem Spinner 20, der den Nabenbereich des Rotors abdeckt.

Diejenigen Bereich der Oberfläche der einzelnen Bestandteile der Windkraftanlage 17, die mit Vertiefungen versehen sind, sind in Fig. 12 schraffiert dargestellt. Der Rotormast 12 ist abgesehen von seinem unteren Teil vollständig mit Vertiefungen zur Strömungsverbesserung versehen. Ebenso sind die Gondel 19 und der Spinner 20 auf ihrer gesamten Oberfläche mit Vertiefungen versehen. Die Rotorblätter 18 weisen auf ihren Ober- und Unterseiten in Längsrichtung verlaufende, streifenförmige Bereiche auf, die mit den Vertiefungen versehen sind.

Anders als bei dem bekannten Haifischhauteffekt, mit dem sich eine Reibungsverminderung um etwa 10 % erzielen lässt, haben erste Voruntersuchungen ergeben, dass bei der Windkraftanlage eine Verbesserung um 30 % zu erwarten ist.

Patentansprüche

1. Windkraftanlage mit einem Mast, einem Rotor mit mehreren Rotorblättern, einer Gondel und gegebenenfalls weiteren umströmten Komponenten, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t , dass die Oberfläche des Mastes (12) und/oder der Rotorblätter (18) und/oder der Gondel (19) und/oder der weiteren Komponenten zumindest teilweise Vertiefungen (1) zur Strömungsverbesserung aufweist.
2. Windkraftanlage nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Vertiefungen (1) im Wesentlichen die Form einer Halbkugel oder eines halbierten Tropfenprofils aufweisen.
3. Windkraftanlage nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Vertiefungen (1) regelmäßig angeordnet sind.
4. Windkraftanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Vertiefungen (1) reihenweise angeordnet sind.
5. Windkraftanlage nach Anspruch 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Reihen zueinander versetzt angeordnet sind.
6. Windkraftanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Vertiefungen (1) bei einem Rotorblatt (18) im Wesentlichen in dem Bereich zwischen dem Umschlagpunkt zwischen laminarer und turbulenter Strömung und der Endkante des Rotorblatts (18) angeordnet sind.
7. Windkraftanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Vertiefungen (1) auf einem flächigen Trägermaterial ausgebil-

12

det sind, das auf oder an der Windkraftanlage (17) befestigbar ist.

8. Windkraftanlage nach Anspruch 7, d a d u r c h
5 g e k e n n z e i c h n e t , dass das Trägermaterial eine Folie (13) ist.

9. Windkraftanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der
10 Aufbau und die Profile der Rotorblätter (18) an die durch die Vertiefungen (1) geänderte Stallgeschwindigkeit angepasst sind.

10. Windkraftanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Steuerungssoftware an die durch die Vertiefungen (1) geänderte Stallgeschwindigkeit angepasst ist.

11. Windkraftanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche,
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass ihre Oberfläche unempfindlich gegenüber Verschmutzungen und Vereisung ist.

FIG 1

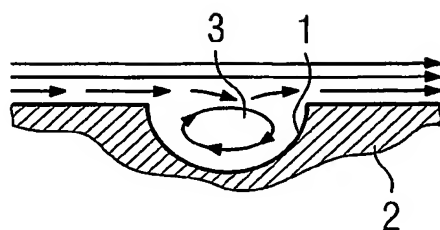


FIG 2

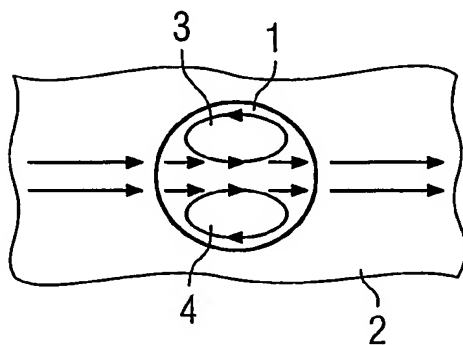


FIG 5

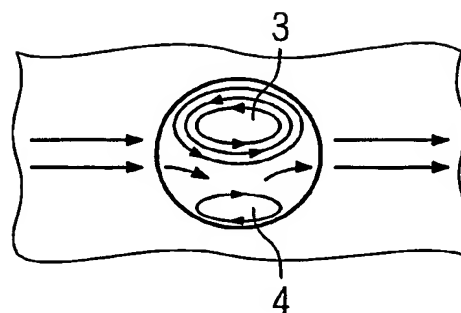


FIG 3

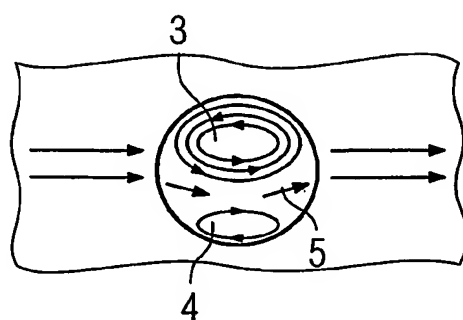


FIG 6

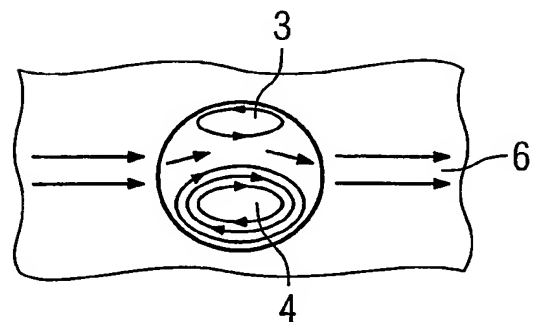


FIG 4

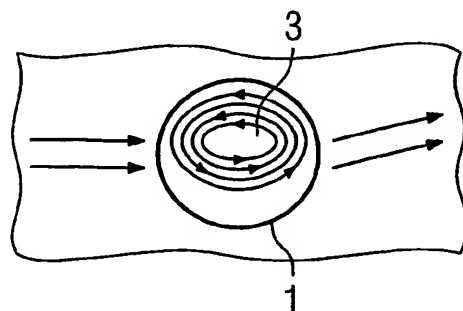
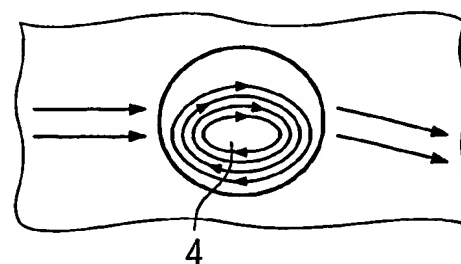


FIG 7



2/3

FIG 8

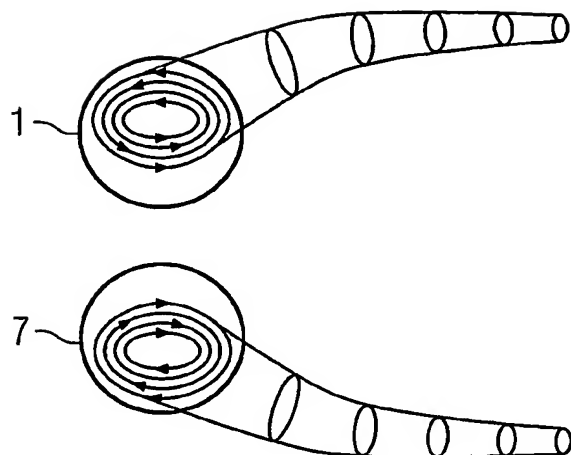


FIG 9

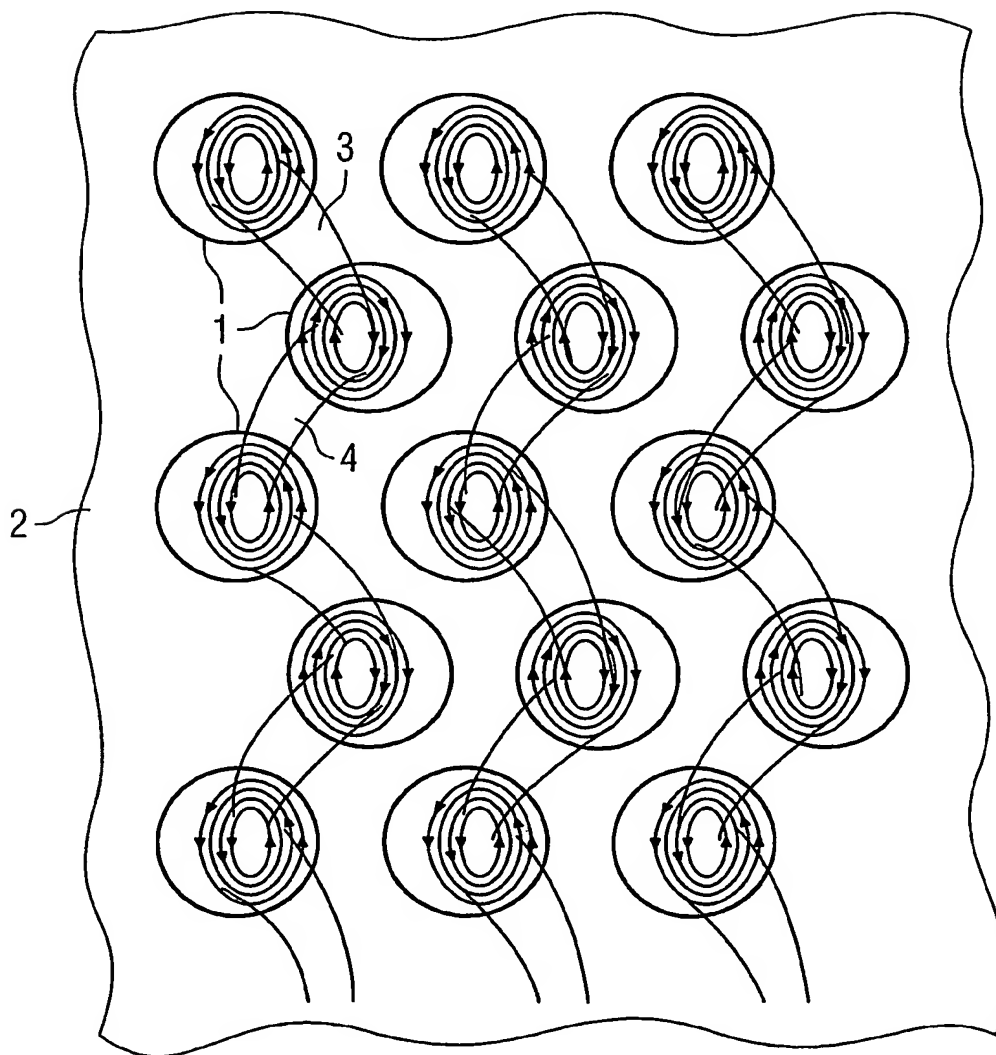


FIG 10
Stand der Technik

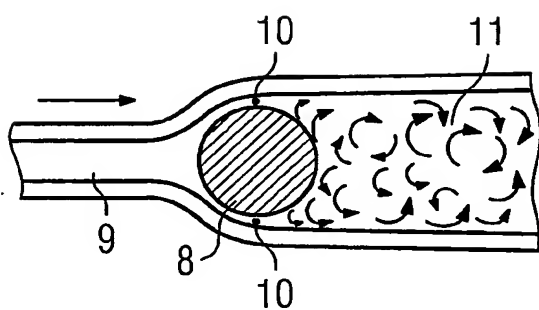


FIG 11

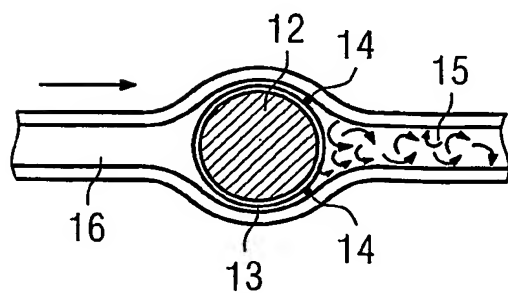
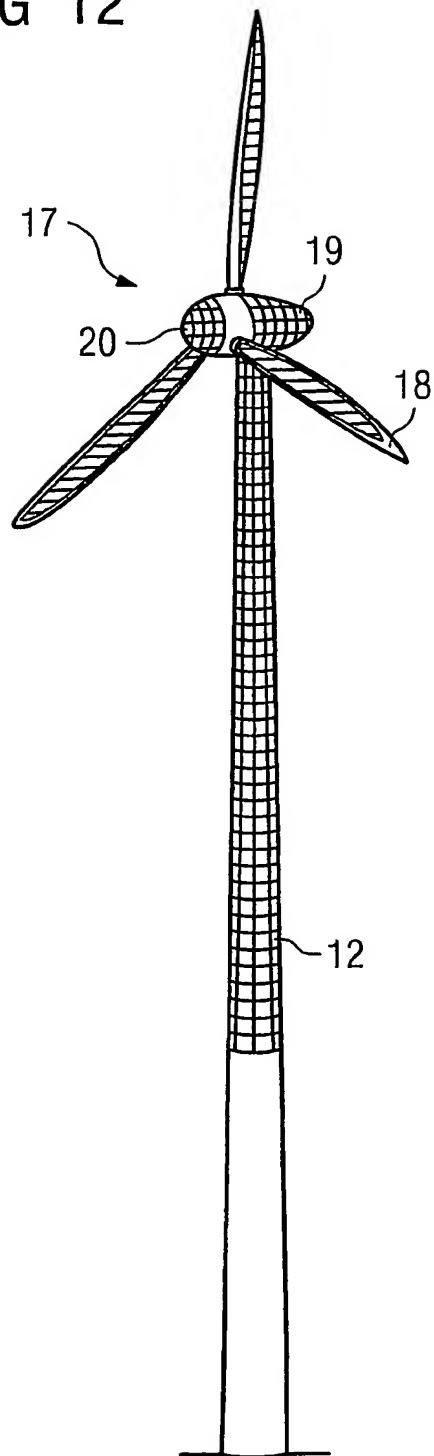


FIG 12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

National Application No
PCT/DE 03/03505

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F03D1/06 F03D11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F03D B64C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 974 633 A (HICKEY JOHN J) 4 December 1990 (1990-12-04) abstract page 1, line 13 - line 34	1,2,6,9, 10
Y	page 2, line 34 - line 44; figures	3-5 7,8,11
Y	----- WO 02/064422 A (OEIGARDEN HANS ; OLSEN FRED (NO)) 22 August 2002 (2002-08-22) abstract; figures 4,5	3-5
Y	----- DE 299 23 485 U (WOBLEN ALOYS) 7 December 2000 (2000-12-07) page 4, paragraph 5; figure 3 page 3, paragraph 2 ----- -/-	7,8,11

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation; or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 February 2004

Date of mailing of the international search report

26/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Criado Jimenez, F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/DE 03/03505

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 100 00 780 A (MERTEN HELMUT WOLFGANG) 17 August 2000 (2000-08-17) abstract; figure 8 column 19, line 55 - column 20, line 15; figure 11 -----	1
A	US 5 386 146 A (HICKEY JOHN J) 31 January 1995 (1995-01-31) column 4, line 35 - line 48; figure 3 -----	1
A	US 5 846 141 A (AOYAMA STEVEN ET AL) 8 December 1998 (1998-12-08) abstract; figures -----	1
A	US 218 438 A (E.A. HEATH) 12 August 1879 (1879-08-12) page 1, right-hand column, paragraph 4 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/DE 03/03505

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4974633	A	04-12-1990	US 5075564 A	24-12-1991
WO 02064422	A	22-08-2002	NO 20010579 A	05-08-2002
			CA 2434541 A1	22-08-2002
			EP 1365950 A1	03-12-2003
			WO 02064422 A1	22-08-2002
DE 29923485	U	07-12-2000	DE 29822003 U1	01-04-1999
			DE 19929386 A1	21-06-2000
			DE 19947211 A1	12-04-2001
			DE 19951346 A1	03-05-2001
			DE 29923485 U1	07-12-2000
			AU 764407 B2	21-08-2003
			AU 1974300 A	26-06-2000
			BG 105542 A	31-01-2002
			BR 9916091 A	04-09-2001
			CA 2353904 A1	15-06-2000
			CN 1329696 T	02-01-2002
			CZ 20011811 A3	12-12-2001
			EE 200100306 A	15-08-2002
			WO 0034651 A1	15-06-2000
			EP 1141543 A1	10-10-2001
			HU 0104638 A2	28-03-2002
			JP 2002531771 T	24-09-2002
			NO 20012828 A	08-06-2001
			NZ 511846 A	25-07-2003
			PL 349338 A1	15-07-2002
			SK 7722001 A3	03-12-2001
			TR 200101479 T2	21-12-2001
			ZA 200104251 A	06-09-2002
DE 10000780	A	17-08-2000	DE 29901994 U1	15-07-1999
			DE 10000780 A1	17-08-2000
			AU 2800700 A	25-08-2000
			WO 0045656 A2	10-08-2000
			EP 1156722 A2	28-11-2001
US 5386146	A	31-01-1995	US 5313103 A	17-05-1994
			US 5394016 A	28-02-1995
US 5846141	A	08-12-1998	AU 7253798 A	13-11-1998
			GB 2339540 A ,B	02-02-2000
			JP 2000512881 T	03-10-2000
			WO 9847573 A1	29-10-1998
US 218438	A		NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 03/03505A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F03D1/06 F03D11/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F03D B64C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EP0-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 974 633 A (HICKEY JOHN J) 4. Dezember 1990 (1990-12-04) Zusammenfassung Seite 1, Zeile 13 - Zeile 34	1,2,6,9, 10.
Y	Seite 2, Zeile 34 - Zeile 44; Abbildungen	3-5
Y	-----	7,8,11
Y	WO 02/064422 A (OEIGARDEN HANS ; OLSEN FRED (NO)) 22. August 2002 (2002-08-22) Zusammenfassung; Abbildungen 4,5	3-5
Y	DE 299 23 485 U (WOBLEN ALOYS) 7. Dezember 2000 (2000-12-07) Seite 4, Absatz 5; Abbildung 3 Seite 3, Absatz 2	7,8,11
	----- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. Februar 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26/02/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Criado Jimenez, F

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/03505

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^a	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 100 00 780 A (MERTEN HELMUT WOLFGANG) 17. August 2000 (2000-08-17) Zusammenfassung; Abbildung 8 Spalte 19, Zeile 55 - Spalte 20, Zeile 15; Abbildung 11 -----	1
A	US 5 386 146 A (HICKEY JOHN J) 31. Januar 1995 (1995-01-31) Spalte 4, Zeile 35 - Zeile 48; Abbildung 3 -----	1
A	US 5 846 141 A (AOYAMA STEVEN ET AL) 8. Dezember 1998 (1998-12-08) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1
A	US 218 438 A (E.A. HEATH) 12. August 1879 (1879-08-12) Seite 1, rechte Spalte, Absatz 4 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung:

zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/03505

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 4974633	A	04-12-1990	US	5075564 A	24-12-1991
WO 02064422	A	22-08-2002	NO	20010579 A	05-08-2002
			CA	2434541 A1	22-08-2002
			EP	1365950 A1	03-12-2003
			WO	02064422 A1	22-08-2002
DE 29923485	U	07-12-2000	DE	29822003 U1	01-04-1999
			DE	19929386 A1	21-06-2000
			DE	19947211 A1	12-04-2001
			DE	19951346 A1	03-05-2001
			DE	29923485 U1	07-12-2000
			AU	764407 B2	21-08-2003
			AU	1974300 A	26-06-2000
			BG	105542 A	31-01-2002
			BR	9916091 A	04-09-2001
			CA	2353904 A1	15-06-2000
			CN	1329696 T	02-01-2002
			CZ	20011811 A3	12-12-2001
			EE	200100306 A	15-08-2002
			WO	0034651 A1	15-06-2000
			EP	1141543 A1	10-10-2001
			HU	0104638 A2	28-03-2002
			JP	2002531771 T	24-09-2002
			NO	20012828 A	08-06-2001
			NZ	511846 A	25-07-2003
			PL	349338 A1	15-07-2002
			SK	7722001 A3	03-12-2001
			TR	200101479 T2	21-12-2001
			ZA	200104251 A	06-09-2002
DE 10000780	A	17-08-2000	DE	29901994 U1	15-07-1999
			DE	10000780 A1	17-08-2000
			AU	2800700 A	25-08-2000
			WO	0045656 A2	10-08-2000
			EP	1156722 A2	28-11-2001
US 5386146	A	31-01-1995	US	5313103 A	17-05-1994
			US	5394016 A	28-02-1995
US 5846141	A	08-12-1998	AU	7253798 A	13-11-1998
			GB	2339540 A , B	02-02-2000
			JP	2000512881 T	03-10-2000
			WO	9847573 A1	29-10-1998
US 218438	A		KEINE		